

Model gruntu organicznego w warunkach częściowego odciążenia

Dr inż. arch. Olga Kopczyńska

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury

Obszary, na których występują grunty organiczne, nie stanowią atrakcyjnych terenów pod zabudowę. Powodem są głównie słabe właściwości inżynierskie podłoża organicznego generujące wiele niekorzystnych zjawisk, jak np. utrata stateczności budowli czy pojawienie się znacznych i długotrwałych osiadań.

Decydując się na zagospodarowanie terenów o podłożu organicznym, inwestorzy muszą liczyć się z koniecznością jego wzmocnienia.

Obecnie na rynku działa wiele firm oferujących wzmacnianie słabego podłoża różnymi metodami, m. in. metodami konsolidacji próżniowej, przy zastosowaniu drenów pionowych lub zagęszczania dynamicznego. Praktykę inżynierską poprzedza jednak bardzo pracochłonny proces badań naukowych prowadzących do konkretnych wniosków.

Właściwości gruntów organicznych, a szczególnie ich złożona struktura i trudne do skonkretyzowania zachodzące w nich

zmiany biochemiczne powodują, że zależności pomiędzy naprężeniami i osiadaniami tych gruntów są ciągle przedmiotem badań wielu naukowców.

Szczecin leży w rejonie jednego z największych w Polsce kompleksów gruntów słabych, powstałych w wyniku zalewania przez wody powodziowe. Obszary o słabym podłożu znajdują się w rejonach miasta oraz portowych wysp. Są to obecnie tereny słabo zagospodarowane, dla których są opracowywane plany przyszłej zabudowy. Zagospodarowanie tego rodzaju terenów wiąże się z koniecznością poznania właściwości fizyko-mechanicznych podłoża, umożliwiające przewidywanie ich zachowania pod wpływem ingerencji człowieka, a więc stworzenia odpowiedniego modelu gruntu.

MODELE GRUNTÓW

Bezpieczeństwo budowli posadowionej na gruncie zależy bezpośrednio od dokładności przewidywań pracy tego gruntu pod obciążeniem. Dlatego ważne jest znalezienie modelu możliwie najwierniej odwzorowującego cechy tego gruntu.

Związki odkształcenie – czas są bardzo istotne w odniesieniu do gruntów, a zwłaszcza gruntów organicznych, które charakteryzują się małą nośnością oraz dużymi odkształceniami. Aby określić aktualny stan odkształcenia gruntu często istotna jest znajomość całej historii jego obciążenia.

Jest stosunkowo mało modeli opisujących grunty organiczne, głównie ze względu na niejednorodną strukturę tych gruntów i na trudności w ujednoliceniu opisu ich zachowania pod obciążeniem.

Jedną z prób sformułowania modelu gruntu organicznego podjął w 1986 roku Meyer (Politechnika Szczecińska) [5, 8]. Sformułował on równanie modelu empirycznego oparte na wynikach badań edometrycznych.

W następnych latach model Meyera rozwinięto na grunty słabe znajdujące się pod obciążeniem stałym i zmiennym w czasie [5 ÷ 9]. Równanie opisujące model Meyera przy obciążeniu stałym w czasie ma następującą postać:

$$s(t, \sigma) = s_{\infty}(\sigma) \cdot [1 - \exp(-D \cdot t^p - \alpha \cdot t)] \quad (1)$$

gdzie:

$s_{\infty}(\sigma)$ – końcowa wartość osiadania próbki gruntu w edometrze po upływie bardzo długiego czasu,

D, p, α – parametry równania, obliczone statystycznie dla danego rodzaju gruntu organicznego oraz dla danej wielkości obciążenia σ .

Podjęto również badania nad modelem Meyera dla gruntu słabego poddanego częściowemu odciążeniu. Wykazano [1, 2], że krzywa osiadania gruntu zaraz po odciążeniu ma charakterystyczne ekstremum (rys. 1). Zjawisko to opisać można za pomocą następującego równania [4]:

$$s(t, \sigma) = s_0(t, \sigma_0) - s_1(t - t_0, \sigma_1) \quad (2)$$

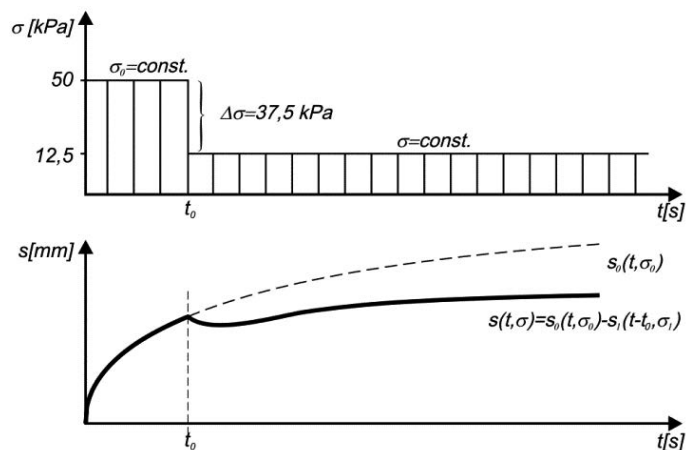
gdzie:

$s_0(t, \sigma_0)$ – krzywa osiadania gruntu przy obciążeniu $\sigma_0 = \text{const.}$:

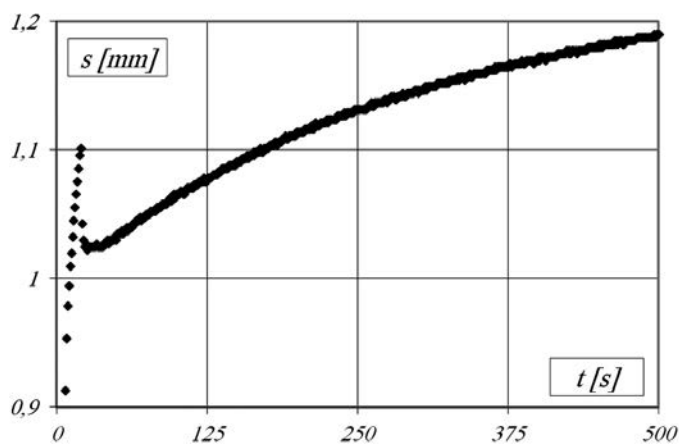
$$s_0(t, \sigma_0) = s_{0\infty}(\sigma_0) \cdot [1 - \exp(-D_0 \cdot t^{p_0} - \alpha_0 \cdot t)] \quad (3)$$

$s_1(t, \sigma_1)$ – krzywa osiadania gruntu przy obciążeniu $\sigma_1 = \text{const.}$:

$$s_1(t - t_0, \sigma_1) = s_{1\infty}(\sigma_1) \cdot [1 - \exp(-D_1 \cdot (t - t_0)^{p_1} - \alpha_1 \cdot (t - t_0))] \quad (4)$$



Rys. 1. Charakterystyka pracy gruntu organicznego w warunkach częściowego odciążenia



Rys. 2. Przykładowa krzywa osiadania otrzymana w wyniku badań edometrycznych

Wykonano szereg badań edometrycznych potwierdzających przyjęte założenia [3], a przykładową krzywą zamieszczono na rys. 2.

WERYFIKACJA MODELU

Model zweryfikowano, wykorzystując program autorski identyfikujący poszczególne parametry równania metodą pełnego przeglądu.

Wektor zmiennych decyzyjnych zapisano za pomocą równania (5):

$$x = [s_{0\infty}, D_0, p_0, a_0, s_{1\infty}, D_1, p_1, a_1]^T \quad (5)$$

Obszar rozwiązań dopuszczalnych utworzono, sprowadzając wartości poszczególnych parametrów do przedziałów wyznaczonych na podstawie badań edometrycznych.

Funkcję celu określono jako różnicę pomiędzy wartościami osiadania gruntu pomierzonymi laboratoryjnie a wartościami osiadania obliczonymi na podstawie równania modelu gruntu (2):

$$f(x) = [s_i - s_i(t)] \quad (6)$$

Jako kryterium zgodności modelu matematycznego z obiektem rzeczywistym zastosowano klasyczną metodę najmniejszych kwadratów:

$$V[f(x)] = \sum_{i=1}^n [s_i - s_i(t)]^2 \quad (7)$$

Schemat algorytmu identyfikacyjnego przedstawiono na rys. 3, natomiast wyniki weryfikacji wybranych krzywych na rys. 4.

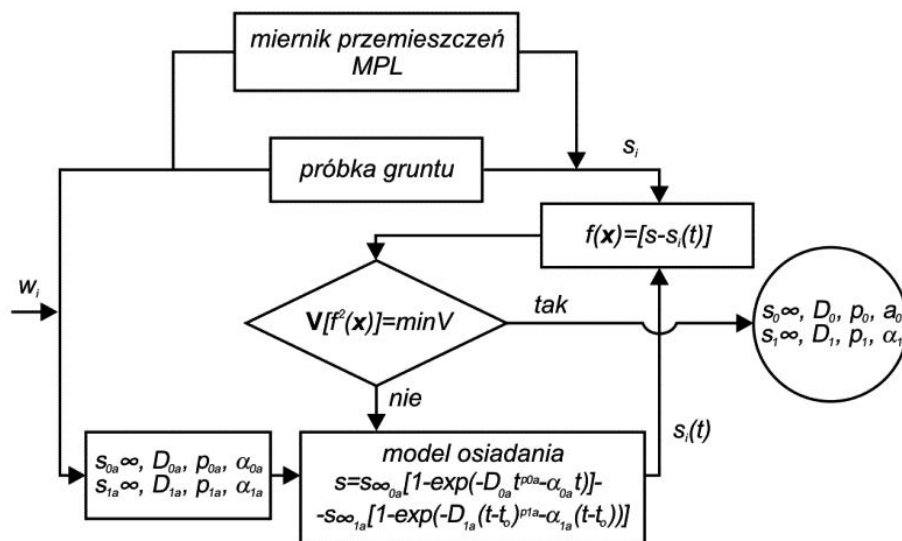
Analizy porównawczej wartości doświadczalnych i teoretycznych wybranych krzywych osiadania dokonano metodą re-

gresji liniowej, w której przyjęto następującą zależność funkcyjną zmiennej s_{obl} (pomierzone wartości osiadań) od zmiennej s_{pom} (obliczone wartości osiadań):

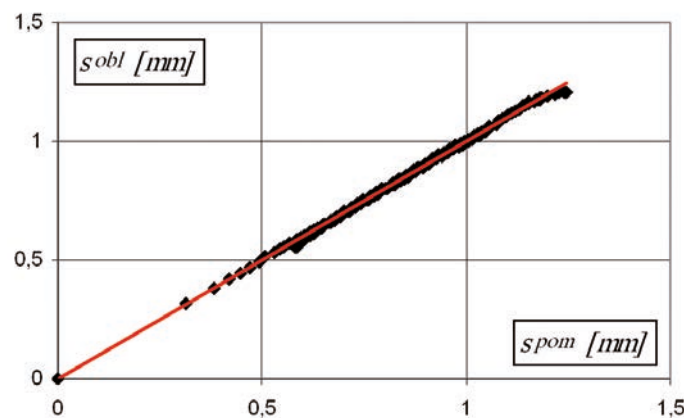
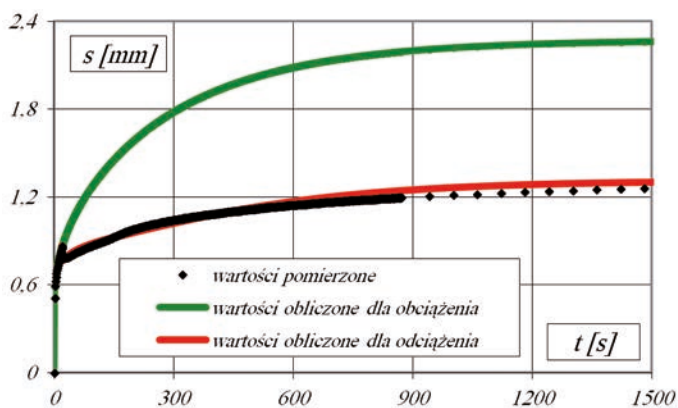
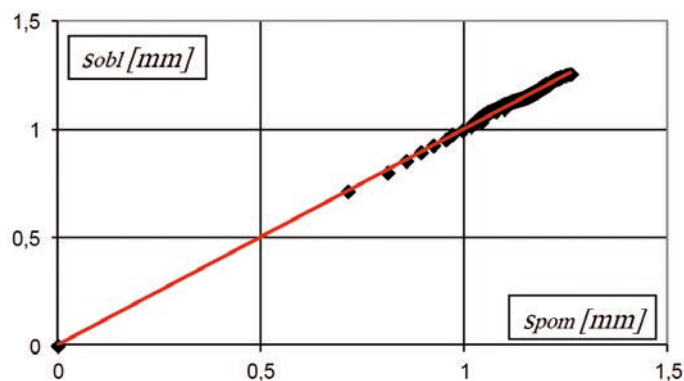
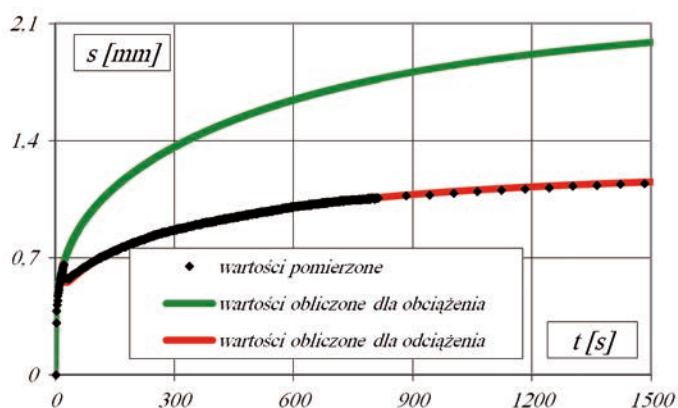
$$s_{pom} = \beta_0 + \beta \cdot s_{obl} \quad (8)$$

Przyjęto estymatory d_0 i d współczynników regresji β_0 i β :

$$d_0 = \bar{s}_{obl} - d_1 \cdot \bar{s}_{pom} \quad (9)$$



Rys. 3. Schemat algorytmu identyfikacyjnego częściowego odciążenia gruntu



Rys. 4. Weryfikacja krzywych osiadania. Obciążenie początkowe 50 kPa, wartość odciążenia 25 kPa. Próbkę odciążono po czasie $t_0 = 20$ s

Rys. 5. Podsumowanie regresji zmiennej zależnej s_{pom} na poziomie istotności $\alpha = 0,05$

$$d_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (s_{iobl} - \bar{s}_{obl}) \cdot (s_{ipom} - \bar{s}_{pom})}{\sum_{i=1}^n (s_{ipom} - \bar{s}_{pom})^2} \quad (10)$$

gdzie:

$\bar{s}_{pom}$ i $\bar{s}_{obl}$ – odpowiednio średnie wyników obserwacji s_{ipom} i s_{iobl} :

$$\bar{s}_{pom} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n s_{ipom} \quad \bar{s}_{obl} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n s_{iobl} \quad (11)$$

Jako miarę stopnia dopasowania prostej regresji do danych doświadczalnych wykorzystano współczynnik R^2 , który jest kwadratem współczynnika korelacji z próby pomiędzy zmiennymi s_{pom} i s_{obl} :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (s_{iobl} - \bar{s}_{obl}) \cdot (s_{ipom} - \bar{s}_{pom})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (s_{ipom} - \bar{s}_{pom})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (s_{iobl} - \bar{s}_{obl})^2}} \quad (12)$$

Otrzymano dobre dopasowanie krzywej regresji do danych (rys. 5), o czym świadczą wysokie wartości współczynników R^2 zawierające się w przedziale od 0,9273 do 0,9988. Wskazuje to za razem na dobrą zgodność wyników obliczonych z pomierzonymi.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych analiz sformułowano następujące wnioski końcowe:

1. Przebieg osiadania gruntu organicznego przy częściowym odciążeniu jest krzywą rosnącą w czasie $t \rightarrow \infty$ oraz posiadającą ekstremum w przedziale $t \in \langle t_0, \infty \rangle$.
2. Przy wykorzystaniu równania modelu Meyera można oszacować teoretycznie czas, w którym nastąpi największa wartość odprężenia gruntu.
3. Głębokość ekstremum maleje wraz z wzrostem wartości momentu zdjęcia części obciążenia.

1. Coufal R., Gwizdka O.: Laboratoryjna weryfikacja empirycznego modelu konsolidacji gruntu organicznego w warunkach zmiennego obciążenia. XI Seminarium Naukowe z cyklu Regionalne problemy ochrony środowiska w ujęciu Odry. Problemy inżynierii środowiska w województwie zachodniopomorskim, Szczecin – Ystad – Świnoujście 30-31 maja 2003.

2. Gwizdka O.: Identyfikacja parametrów nieliniowego modelu reologicznego gruntu organicznego. IV Konferencja Naukowa Doktorantów Wydziałów Budownictwa, Gliwice – Wisła 20 – 21 listopada 2003.

3. Kopczyńska O.: Wpływ właściwości reologicznych gruntu organicznego na osiadanie w warunkach zmiennego obciążenia. Zeszyt Doktorantów 2004-2005 Kierunku Budownictwo, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2004.

4. Kopczyńska O.: Empiryczny model osiadania gruntu organicznego. Metoda badawcza i jej wyniki. Czasopismo techniczne Politechniki Krakowskiej, Zeszyt 19, Rok 108, Kraków 2011.

5. Meyer Z.: Empiryczny model konsolidacji torfów. Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 379 Geotechnika IV, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1988.

6. Meyer Z.: Empiryczny model konsolidacji torfów w przypadku występowania obciążenia zmiennego w czasie. Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 397 Geotechnika V, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1989.

7. Meyer Z.: Wpływ wielokrotnych zmian obciążenia na przebieg konsolidacji torfów. Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 418 Geotechnika VI, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1990.

8. Meyer Z.: Empirical model of peat consolidation. International Workshop Advances in Understanding and Modeling the Mechanical Behaviour of Peat, Delft, June 16-18, 1993.

9. Meyer Z.: Consolidation model of organic soils. Seminar on problems of geoenvironment in Szczecin region, Szczecin 10-11 October 1996.